

# PYREX: EXPERIENCIAS OPERATIVAS Y PRIMEROS RESULTADOS

A. Jansá, J. A. García-Moya  
A. Genovés  
M. A. Heredia

(Centro Meteorológico Zonal de Baleares)

## INTRODUCCION

Estas notas se preparan cuando han transcurrido tres cuartas partes de la fase de campo de PYREX. Como es sabido (BOUGEAULT et al., 1990), el Experimento Pirenaico PYREX fue diseñado por los servicios meteorológicos de Francia y España para profundizar en el conocimiento de los efectos orográficos sobre la circulación atmosférica. La parte central del experimento, entre la planificación e instalación y la explotación, es la fase de campo, en la que nos encontramos, y que dura desde el 1º de octubre al 30 de noviembre de 1990.

Durante la fase de campo están en funcionamiento o en disposición de funcionar una serie de sistemas de observación especiales, complementarios de los ordinarios. Destacan los instalados en la línea transversal a Pirineos que discurre a lo largo de los valles del Aure y del Cinca, donde funcionan 14 estaciones automáticas de superficie, tres perfiladores ST y dos sodar y que es sobrevolada por varios aviones cuando las condiciones son apropiadas. En la zona próxima a Pirineos hay, además, tres estaciones de radiosondeo adicionales a cada lado, dos puntos de lanzamiento y seguimiento de globos a nivel constante y dos sodar más. Participan cuatro aviones, tres franceses y uno alemán, con planes de vuelo que, aparte de cruzar el eje central de la cordillera, cubren las regiones afectadas por los vientos regionales ligados a Pirineos, Autan, Tramontana y Cierzo.

Para sacar el adecuado rendimiento a los medios instalados, funciona en Toulouse un Centro de Operaciones, comandado por el Director del Experimento, Dr. P. Bougeault, y constituido, por parte francesa, por un coordinador de aviones, un coordinador de los sistemas de tierra, un secretario técnico y un predictor. Por parte española, participan en el Centro de Operaciones un coordinador de sistemas de tierra y un predictor.

Aunque hay sistemas que están en funcionamiento continuo, la fase de campo se centra de un modo especial sobre los denominados POI, Periodos de Observación Intensiva, durante los cuales se realizan sondeos extraordinarios en todas las estaciones cercanas a Pirineos, tanto ordinarias como extraordinarias, se lanzan globos de nivel constante y los aviones realizan los planes preestablecidos.

## FUNCION DE LOS PREDICTORES

El anuncio previo de un POI —fases de alerta 1, 2 y 3, según se prevea un posible periodo interesante para el experimento a 48, 24 o 12 horas— y su desencadenamiento efectivo —fase de alerta 4— corresponde al Director del Experimento, que cuenta, para ello, con la información proporcionada por todos los miembros responsables del Centro de Operaciones. Dicha información se intercambia en sesiones conjuntas, "briefing", una o dos veces al día, en función, esto último, del grado de alerta. Se trata, desde luego, de estudiar la situación meteorológica, pero, también, de conocer el estado de todos los siste-

mas, ya que una situación favorable puede ser deshechada si no está disponible un soporte adecuado de medios.

En el supuesto de que los medios funcionen, la decisión de un cambio de alerta y/o apertura o cierre de un POI se toma principalmente en base a la predicción.

Ambos predictores, francés y español, han tenido que estudiar la situación y la evolución prevista antes de cada briefing convocado. Cuentan para ello con los medios de predicción de la Escuela Nacional de Meteorología de la DMN francesa y algún otro complemento. El predictor español ha podido contar, además, en general, con el apoyo humano y de medios del INM, particularmente desde el CMZ de Baleares.

Lo que andan buscando ambos predictores son situaciones de N y de S, flujo atravesado a los Pirineos, particularmente al nivel de las cumbres, 700 hPa, y/o vientos regionales **conexos**, Autan, Tramontana y Cierzo. Ambos predictores, en menor o mayor grado, según el talante personal y el tipo de situación o circunstancias, discuten sobre la situación antes del briefing.

Hay un cierto grado de especialización en ambos predictores. El francés se concentra más en situaciones transversales, particularmente Sur, y en Autan, mientras el español está más pendiente de la Tramontana y el Cierzo y, en caso de situación Sur, del riesgo de convección, por las dificultades que plantea el fenómeno al tipo de vuelos planificado.

Hay un acuerdo tácito por el cual el predictor **francés** hace en el briefing la exposición general de la situación, pero es frecuente que durante la discusión el predictor español sea interpelado directamente para afinar en los temas especializados.

Los predictores españoles han hecho un "diario de a bordo", con comentarios previos y posteriores a los briefing. Encontraremos allí una multitud de detalles expresivos de la influencia real que han tenido en la marcha de PYREX. Podemos mencionar que la valía de su contribución ha sido expresada públicamente por P. Bougeault.

## DESARROLLO DE PVREX HASTA EL 20.11.90

El PYREX ha respondido en un porcentaje muy alto a las expectativas creadas. Se han presentado situaciones favorables en abundancia y han sido aprovechadas en un grado muy alto. Sólo nos queda un buen Cierzo para considerar que todo se ha cumplido (\*), que se ha reunido tanta información como queríamos, más de la que hubiéramos podido imaginar.

Mostramos una tabla esquemática indicando los POI completados y sus características:

fechas	nº	tipo de fenómeno	éxito
4-5/10	1	Tramontana	***
11-13/10	2	Autan. Onda de montaña (S)	**
14-15/10	3	Onda de montaña (S)	***
20-21/10	4	Onda de montaña (S)	**
25-26/10	5	Onda de montaña (S)	*
3-5/11	6	Tramontana	**
6-7/11	7	Autan	*
11-12/11	8	Onda de montaña (N). Cierzo	*
14-15/11	9	Tramontana. Onda de montaña (N)	****

## RESULTADOS

Es evidente que es prematuro hablar de resultados, pero de hecho empiezan a existir.

Por una parte, el buen funcionamiento de la mayoría de sistemas es, sin duda, el primer resultado a destacar. En este sentido llama la atención el altísimo grado de operatividad de la red de estaciones automáticas de superficie instalada en la línea transversal principal de

(\*) Después de presentadas estas notas, en los últimos días de la fase de campo, se ha presentado y aprovechado un significativo caso de Cierzo, con lo que se redondea el éxito apuntado arriba.

la cordillera. Ha habido, no obstante, algunos problemas., Algunos sondeos extraordinarios, particularmente españoles, han fallado, especialmente al principio de la experiencia. Algunos aviones, por otra parte, han tenido dificultades, que han obligado a frustrar algunos vuelos previstos. Pero, globalmente, hay que insistir en el éxito.

Si pasamos a resultados científicos propiamente dichos, podríamos referirnos a los cálculos de rozamiento ("drag") y a algunas observaciones tomadas por aviones, en particular, en lo referente a la descripción de la Tramontana.

## "DRAG"

Nos hemos acostumbrado a referirnos al tema en términos de "**dipolo** orográfico" (JANSA 1990). Se trata de la perturbación del campo de presiones generada **orográficamente** y que traduce el rozamiento que la montaña impone al flujo de aire que la atraviesa.

Si lo que nos interesa medir es el rozamiento medio, rozamiento por unidad de superficie, que la montaña ejerce sobre el aire que la cruza, tenemos que seguir la perturbación de presión en detalle, a **través de todo el perfil** transversal. Considerar sólo los valores extremos de presión (la medida del **dipolo** orográfico) supone sobrevalorar el rozamiento propiamente dicho, considerando a la montaña como una pared vertical, es decir, más abrupta que en la realidad y, probablemente, dando demasiado peso en el rozamiento global a los efectos térmicos, ligados a advección diferencial de temperatura (bloqueo de aire frío a barlovento), foehn y acumulación de calor sensible a sotavento.

El rozamiento medio o "drag" (D) se mide por

$$D = \left( \iint_{XY} p(h) \left( \delta h / \delta x \right) dx dy \right) / XY$$

siendo x el eje transversal a la cordillera e y el longitudinal, h la altitud del suelo, p la presión y X e Y las dimensiones transversal y longitudinal del área montañosa estudiada.

En el caso simplificado de una montaña equiparada a una pared vertical de altura H, llamando P a la medida del **dipolo** orográfico o diferencia extrema de presión, la anterior expresión se simplifica a

$$D = (P/2) H/Y \quad (\text{tomando } X=1)$$

En PYREX el área considerada para el cálculo del rozamiento es la línea de **microbarógrafos Aure-Cinca**, cuyo esquema se reproduce en la fig. 1, con **H=2.400 m** y **X=170 km**, de modo que para un P de 10 hPa se tendría un drag simplificado, sobrevalorado, de 7 Pa. De hecho los números encajan, ya que en PYREX se han observado **dipolos** orográficos de la magnitud citada, correspondiendo drags calculados, verdaderos, de hasta 5 Pa. El **dipolo** orográfico de los Pirineos es, pues, realmente intenso, lo que revalida conceptos y métodos que hemos venido utilizando.

A modo de ejemplo, en la fig. 2 se muestran los perfiles de presión reducida a nivel del mar, a través de la cordillera y a lo largo del tiempo, durante el POI nº 1. Se observa, aparte de un incremento continuado de la presión en el transcurso del episodio, la abrupta caída de la misma a través de la montaña, máxima en el periodo central del POI y concentrada en la zona de cresta, entre las estaciones 5-6 y 10-11, en unas decenas de kms. La caída de presión alcanza 10 hPa.

En la parte inferior de la misma figura se representa el rozamiento medio calculado —en tiempo real, en el concentrador de estaciones automáticas sito en Toulouse— a lo largo de los dos días del POI nº 1, 4 y 5 de octubre. Véase que el drag se mantiene entre 3 y 5 Pa durante más de 24 horas.

Se dispone de los valores del drag y de los datos de las estaciones de la línea transversal principal en continuo, durante toda la fase de campo, lo que, sin duda, abre muchas posibilidades para profundizar en el estudio del **dipolo** orográfico y los fenómenos **conexos**.

## TRAMONTANA

Sólo para iniciar un tema que también dará mucho de sí, veamos alguna gráfica provisional, obtenida a partir de los datos del vuelo PYREX 11, Piper Aztec, el 5 de octubre de

1990, de 0730 a 1132, un vuelo, por cierto, cuya planificación previa correspondió a la parte española del Grupo de Proyecto.

La figura 3 es una transcripción de vientos, en planta. Entre los puntos E2 y E3 los vectores se superponen, ya que el tramo fue volado, sucesivamente, a tres niveles distintos. Ese tramo, en corte transversal, es objeto de la figura 4, a, vientos, b, temperaturas potenciales. En la figura 4b se ha ensayado un esbozo de análisis.

Se puede apreciar la fuerte cizalladura del viento a través del meridiano del cabo de Creus, así como el marcado máximo de velocidad al E de dicha línea, a la latitud de dicho accidente geográfico, características ya comentadas en otros lugares (JANSA 1987). Los vientos observados en la zona de máximo superan los 40 y 50 kt a 2.000 ft de altitud. El avión Merlin había medido más de 40 kt a 100 m del nivel del mar, el mismo día, en la misma zona. Son datos bastante más congruentes con los resultados del diagnóstico "viento4" del CMZ de Baleares que con la salida directa de viento a 1.000 hPa dada por el LAM operativo, tanto en análisis, como en predicción (HEREDIA y JANSA 1990). La comparación entre la distribución de vientos y temperaturas potenciales (fig. 4) hace pensar en una coincidencia entre la línea de cizalladura del viento en bajo nivel y el corte de un frente térmico, con aire frío al E, en la zona de viento fuerte y aire más cálido al W, en la zona de calma o viento opuesto. Aunque hay que estudiar los datos con mucho más detalle, la presencia de aire cálido, a resguardo del Pirineo, apunta a una brusca disminución del presumible gradiente de presión E-W, que, por contraste, tendría parte de su causa en la presencia de la entrada fría. Ello concordaría con la idea de que los modelos numéricos de baja resolución que usan orografía media, es decir, con efectos orográficos suavizados, no pueden dar vientos realistas, porque no producen bloqueos y resguardos realistas sobre el flujo de aire.

## REFERENCIAS

- BOUGEAULT, P., A. JANSA, B. BENECH, B. CARISSIMO, J. PELON and E. RICHARD, 1990: Momentum Budget over the Pyrénées: The PYREX Experiment, *Bull. Amer. Met. Soc.*, **71**, 806-818.
- HEREDIA, M. A., y A. JANSA. 1990: Problemática de la simulación de viento por el LAM-INM. Caso de la Tramontana, (este volumen).
- JANSA, A., 1987: Distribution of the Mistral: A Satellite Observation, *Meteorol. Atmos. Phys.*, **36**, 201-214.
- JANSA, A., 1990: *Notas sobre análisis meteorológico mesoscalar en niveles atmosféricos bajos*, INM.

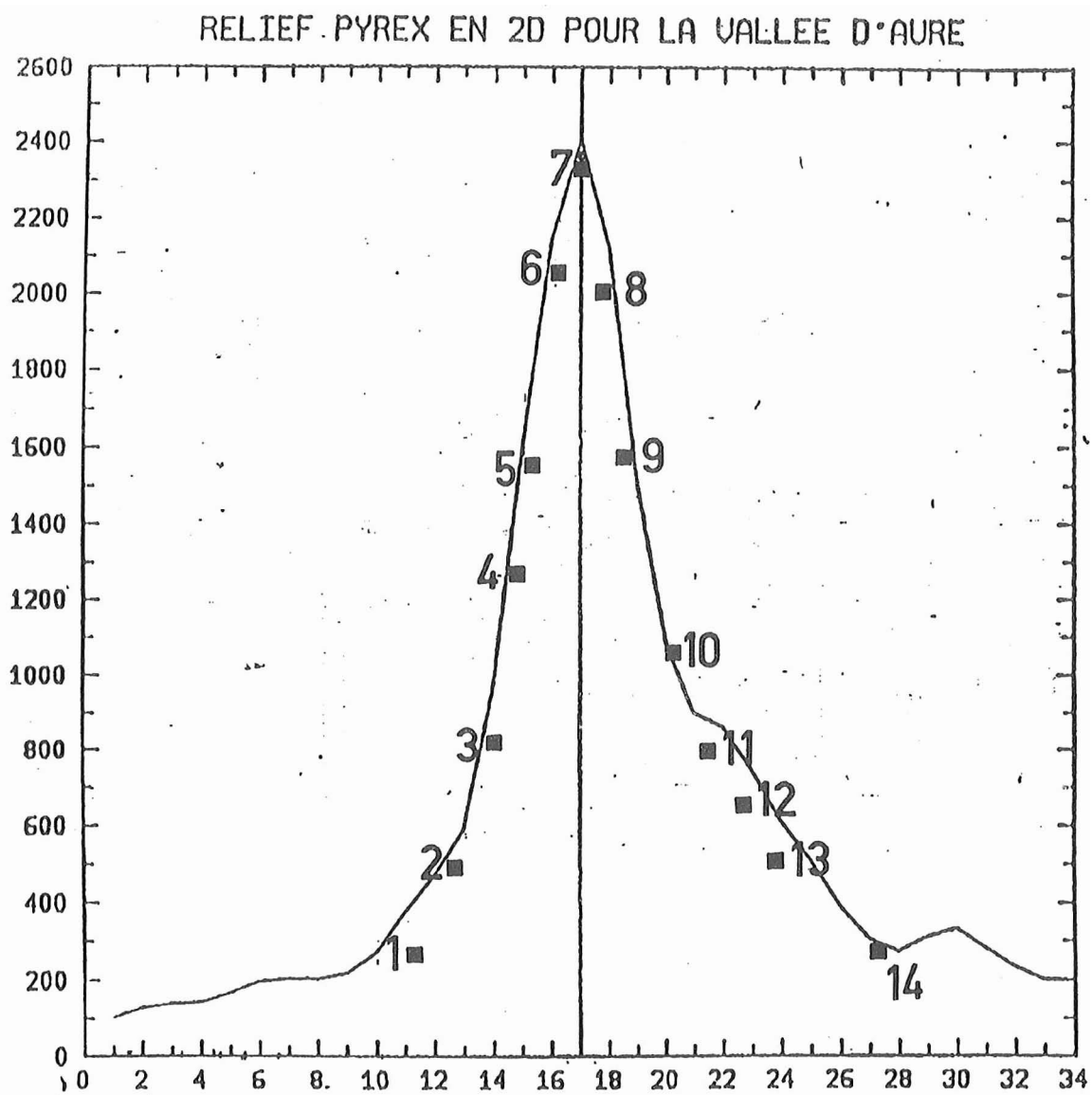
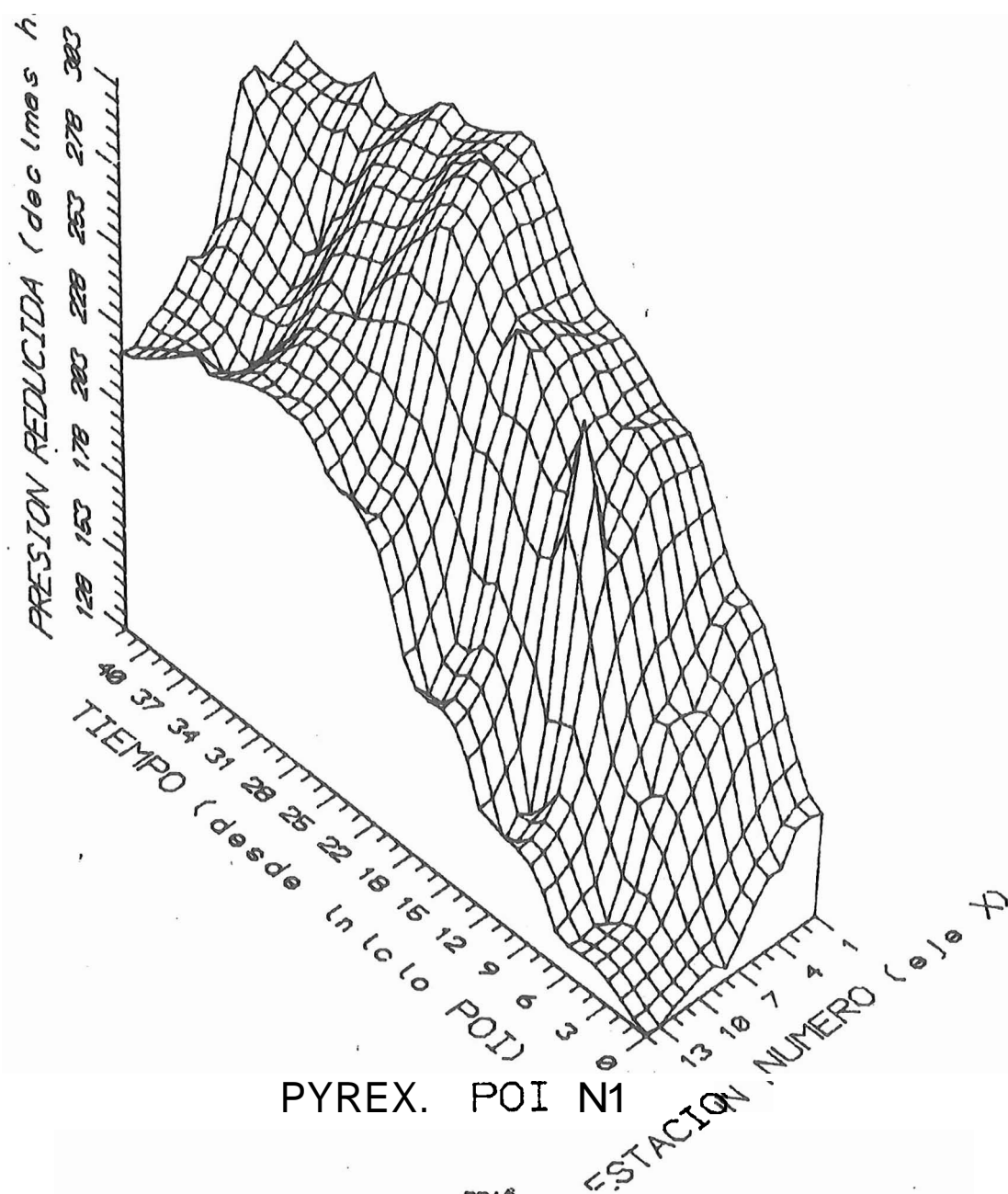


Fig. 1. Situación de estaciones de superficie 4M del CNRM (DMN). El eje x es el eje transversal a los Pirineos, rotulado en decenas de km. Francia a la izquierda y España a la derecha.



PYREX. POI N1

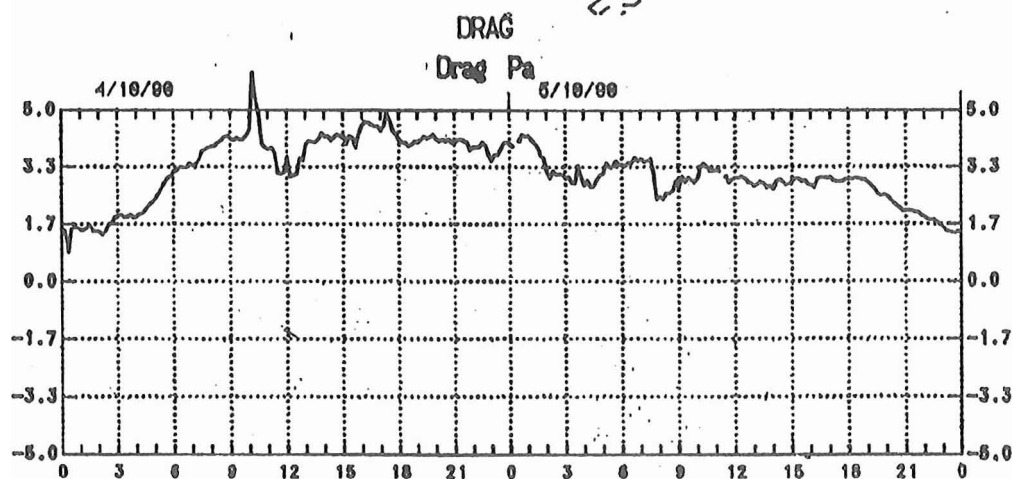
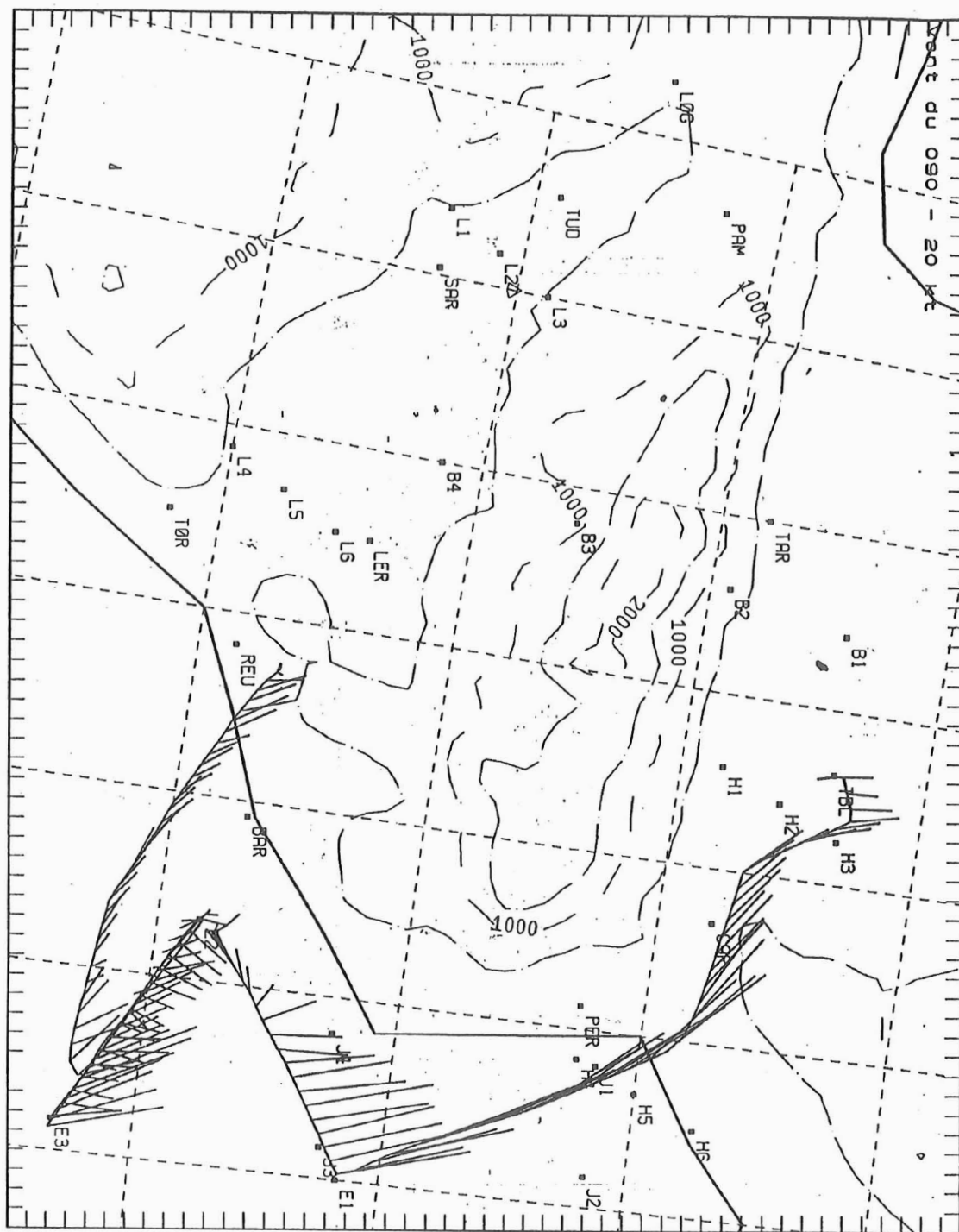


Fig. 2. Arriba. Presiones reducidas a nivel del mar a través de los Pirineos y a lo largo del tiempo (POI n° 1, estaciones 4M CNRM). Abajo. Drag calculado a lo largo del mismo periodo, con las mismas estaciones.



METEO  
FRANCE

EERM/LIMA Christine Berne 08/90

VOL AZTEC 11 du 5/10/90 de 73029 a 113029

Vent Meteo en kt : DOPPLER

Fig. 3. Vientos observados por el vuelo Piper Aztec 17 (POI nº 1).

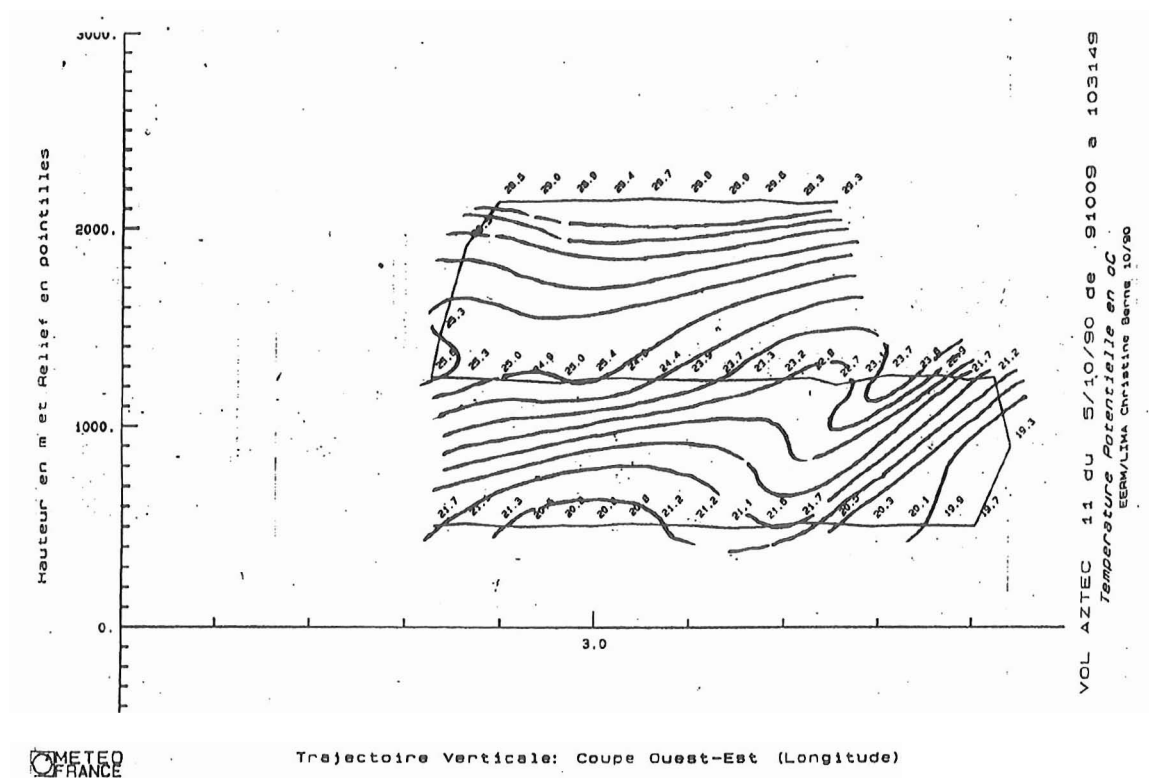
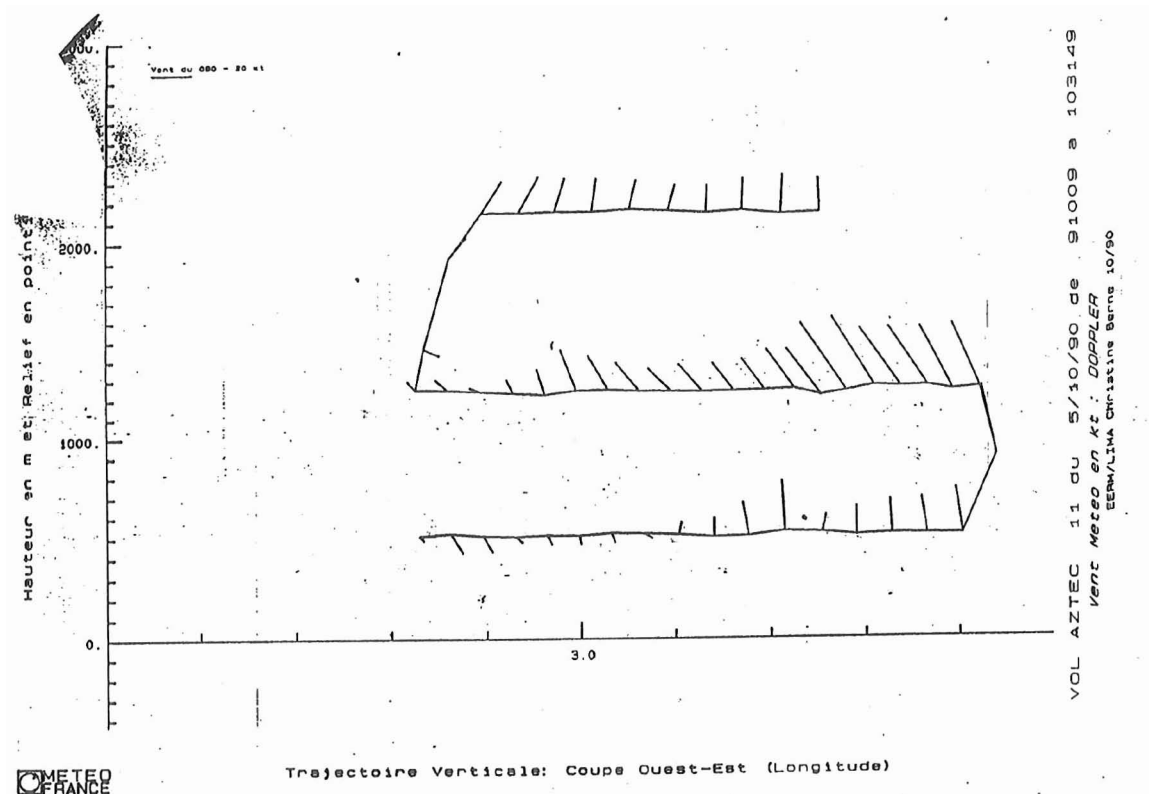


Fig. 4. Sección transversal del tramo de vuelo E2-E3 (ver fig. 3). Arriba (a), vientos. Abajo (b), temperatura potencial (análisis de los autores).